

Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 2016

Sonderdruck  
Seiten 183–198



J. CRAMER Verlag · Braunschweig  
2017

## Behandlung und Wiedernutzung kommunaler Abwässer – Das Braunschweiger Modell –\*

MÜFIT BAHADIR

TU Braunschweig, Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie  
Hagenring 30, D-38106 Baunschweig, E-Mail: m.bahadir@tu-braunschweig.de

### Zusammenfassung

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser und die umwelt- und gesundheitsgerechte Abwasserbehandlung gehören zu Schlüsselfaktoren der Nachhaltigen Entwicklung im 21sten Jahrhundert. Ein Zehntel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa ein Drittel keine sanitäre Basisversorgung. Die Wasser- und Sanitärversorgung ist eine Grundvoraussetzung für die nachhaltige Entwicklung weltweit. Wegen der Knappheit und der Verschmutzung von Wasserressourcen in weiten Teilen der Welt kommt der Behandlung und Wiedernutzung von kommunalen Abwässern eine eminente Bedeutung zu. Braunschweig und Wolfsburg sind bundesweit die letzten beiden Regionen, in denen dieses Konzept noch zum Einsatz kommt. Die kommunalen Abwässer werden geklärt und zur Bewässerung in der Landwirtschaft bzw. zur Grundwasseranreicherung wiederwendet. Um empfindliche Ökosysteme zu schützen, wird der Gesamtprozess im Hinblick auf Nährstoffe und Schadstoffe analytisch streng überwacht. Durch die Beteiligung der landwirtschaftlichen Nutzer im Abwasserverband werden die Interessen der Bauern im Hinblick auf Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gewahrt. Mit diesem System besteht in Braunschweig ein „*Best Practice*“ Modell, das geeignet ist, auch in Entwicklungs- und Schwellenländern in Trockengebieten z.B. des Mittleren Ostens und Nordafrikas zum Einsatz zu kommen. Im Rahmen von mehreren Projekten zur Entwicklungszusammenarbeit und zur Transformationspartnerschaft wird das „*Braunschweiger Modell*“ von Wissenschaftlern der TU Braunschweig weltweit zur „*Capacity Building*“ exportiert.

---

\* Der Vortrag wurde am 08.04.2016 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

## Einleitung

Die Verfügbarkeit von Wasser, der Zugang zu sauberem Trinkwasser und die umwelt- und gesundheitsgerechte Behandlung von Abwässern gehören zu Schlüsselfaktoren der Nachhaltigen Entwicklung im 21sten Jahrhundert. Ein Zehntel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa ein Drittel keine sanitäre Basisversorgung. Die Wasser- und Sanitärversorgung ist eine Grundvoraussetzung für die nachhaltige Entwicklung weltweit und ein wichtiges Arbeitsfeld der deutschen Entwicklungszusammenarbeit [1]. Auswirkungen der mangelnden Umwelthygiene zeigen sich nicht zuletzt an großen Epidemien auf der Welt, wie z.B. dem Ebola Ausbruch in 2014/2015 in Afrika [2], der neben medizinischen, auch und gerade mit hygienischen Maßnahmen wie der Verteilung eines Stücks Seife pro Haushalt bekämpft wurde.

Die Entwicklungszusammenarbeit mit Hochschulen in Ländern der Dritten Welt wird für das BMZ vom DAAD im Rahmen seiner Programmarbeit umgesetzt. Im Zusammenhang mit der *„Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder zur Förderung von Wissenschaft und Forschung an deutschen Hochschulen“* in den drei Förderlinien *„Graduiertenschulen, Exzellenzcluster und Zukunftskonzepte“* in 2005/2006 wurde vom DAAD das Programm *„Hochschulexzellenz in der Entwicklungszusammenarbeit – Exceed“* 2009 ins Leben gerufen. *„Ziel der Initiative ist es, die Hochschulen in den Bereichen Lehre, Forschung und Dienstleistung zu stärken, um gemeinsam wirkungsvolle und innovative Beiträge zur Verwirklichung der Entwicklungsziele der Vereinten Nationen zu leisten. In den folgenden fünf Jahren entstanden mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) fünf weltweit kooperierende Netzwerke zu den folgenden thematischen Schwerpunkten: (i) Nachhaltige Wasserwirtschaft; (ii) Ressourcenmanagement, (iii) Menschenwürdige Arbeit, (iv) Ernährungssicherung, und (v) Medizin“* [3].

Der Antrag der TU Braunschweig *„EXCEED – Excellence Center for Development Cooperation – Sustainable Water Management in Developing Countries“* ist eines dieser fünf Projekte, die in einem zweistufigen, mit der Exzellenzinitiative vergleichbaren Bewerbungsverfahren ausgewählt und gefördert wurden. Ursprünglich dem MDG 7/C gewidmet (*„Bis 2015 den Anteil der Menschen um die Hälfte senken, die keinen nachhaltigen Zugang zu einwandfreiem Trinkwasser und grundlegenden sanitären Einrichtungen haben“*), wurden im Zuge der Evaluation des DAAD Programms und der Verlängerung der beteiligten fünf Projekte in Braunschweig, Kassel, Köln, Hohenheim und München um weitere fünf Jahre nunmehr die SDGs (*Sustainable Development Goals*), an der TU Braunschweig insbesondere das SDG 6 zugrunde gelegt [1]. Das Braunschweiger Exceed Projekt ist ein Netzwerk von über 30 Hochschulen in 18 Ländern auf vier Kontinenten, das von der TU Braunschweig geleitet und koordiniert wird.

Seit Beginn des so genannten Arabischen Frühlings mit der erfolgreichen „*Jasmin Revolution*“ in Tunesien in 2011 „*begleitet Deutschland im Rahmen der Transformationspartnerschaft die politischen Umbrüche in der arabischen Region. Die Hochschulausbildung sowie die akademische Kooperation nehmen in Zeiten gesellschaftlichen und politischen Wandels eine wichtige Rolle ein. Neben der Aufgabe der Hochschulen, akademische Ausbildungsmöglichkeiten zu schaffen und die wissenschaftliche Innovationsfähigkeit der Länder zu fördern, gelten diese auch als Raum gesellschaftlicher Aushandlung und Weichenstellung.*“ [4] Mit Fördermitteln des Auswärtigen Amtes wurde vom DAAD das Programm „*Deutsch-Arabische Transformationspartnerschaft*“ aufgelegt, um in der „*Zusammenarbeit zwischen deutschen und arabischen Hochschulen ... besonders die Modernisierung der Lehre, den Strukturausbau in Forschung und Management sowie die Verbesserung der Beschäftigungsfähigkeit der Absolventen an den arabischen Partnerhochschulen in den Mittelpunkt der Kooperationsprojekte*“ zu stellen.

Die Länder des Arabischen Frühlings liegen sämtlich in einer der trockensten Regionen der Erde (MENA - Middle East & North Africa). Die Knappheit an Süßwasserreserven ist ihnen gemeinsam, die zu Versorgungsengpässen und Verlust an Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft führt, den traditionell stärksten Beschäftigungsfeldern in diesen Ländern. Das war ursprünglich auch der Ausgangspunkt für die Jasmin Revolution in Tunesien. Für die TU Braunschweig bot sich mit dieser Förderlinie des DAAD die Chance, die im Rahmen des Exceed Projekts erworbene Expertise für die Transformationspartnerschaft mit zwei Hochschulen und einem Forschungszentrum in Tunis und Sousse, der Partnerstadt von Braunschweig, mit dem Titel „*EMPOWER Tunisia – Emerging Pollutants in Water and Wastewater*“ einzusetzen, durch den Dialog von Wissenschaftlern und Studierenden aus Nord und Süd zur gesellschaftspolitischen Entwicklung an Hochschulen, und durch die Umsetzung der wissenschaftlichen Projektziele zur Verbesserung der Wasserverfügbarkeit und der Umweltqualität beizutragen.

Diese umwelt- und wasserbezogenen Netzwerke arbeiten mehrheitlich in einem Umfeld, wo bereits andere, z.T. breiter aufgestellte, wissenschaftliche Netzwerke tätig sind. Zu ihnen gehört „*MESAEP – Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection*“, das 1979 von Gastwissenschaftlern aus dem Mittelmeer Raum (Südeuropa und MENA) an der Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung München, (heute: Helmholtz Zentrum für Umwelt und Gesundheit) gegründet wurde und seit dieser Zeit sich mit Fragen des Umweltschutzes und des nachhaltigen Ressourcenmanagements im Mittelmeer Raum und darüber hinaus beschäftigt [5].

Somit war es naheliegend, diese drei Netzwerke für eine engere Zusammenarbeit zu gewinnen und aus den thematischen sowie z.T. personellen Überschneidungen (wie z.B. in der Person der Projektleitung und des Autors dieses Artikels) Synergien freizusetzen. Ein zentrales Thema hierbei ist die nachhaltige kaskadische Nutzung von knappen Süßwasserressourcen unter Beachtung der Umwelt- und



Gesundheitsaspekte. Das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung in der Landwirtschaft dient dabei als ein „*Best Practice*“ Beispiel und überzeugt insbesondere durch die akkurate Beachtung des Umwelt- und Gesundheitsschutzes und – für den „Export“ des Modells in Entwicklungs- und Schwellenländer nicht unwichtig – durch den Einsatz in unserer eigenen Region.

Im Folgenden wird das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung in der Landwirtschaft vorgestellt und die Maßnahmen erläutert, die zum Erfolg dieses Modells beitragen.

### **Entwicklung der Abwasserbehandlung und Verwertung in Braunschweig**

Die geregelte Abwasserentsorgung begann in Braunschweig im Jahre 1894 mit der Inbetriebnahme der ersten Rieselfelder, wie dies auch an anderen Orten in Deutschland praktiziert wurde, z.B. in Berlin Marienfelde seit 1874. Bei der Bodenpassage wurden die Abwässer filtriert und durch Bodenbakterien bis zu einem Grad gereinigt. Große Umwelt- und Geruchsprobleme waren typischer Weise die Folgen. In späteren Jahren wurden die kommunalen Abwässer der Stadt Braunschweig auch für die Bewässerung in der Landwirtschaft auf sandigen Böden eingesetzt. 1954 wurde der Abwasserverband gegründet, der für die Verteilung des Wassers in der Landwirtschaft zuständig war. 1955 bis 1966 wurden die vier Sickerfelder auf etwa 3.000 ha erweitert. Zur gleichen Zeit begann die Feldbewässerung durch Beregnungsanlagen des mechanisch vorgeklärten Abwassers. Dies führte naturgemäß erst recht zur Geruchsbelastung im Norden der Stadt. Um diese zu beseitigen, wurden in der Zeit 1979-1991 in mehreren Ausbaustufen die neue vollbiologische Kläranlage errichtet und die Bewässerungsfelder modifiziert. Schließlich wurde im Jahre 2000 die Schlammfaulung installiert, um aus dem organischen Inhalt des Abwassers Energie (Biogas) zu gewinnen, die zu einem großen Anteil den Eigenenergiebedarf der Kläranlage deckt (ca. 85%).

Heute besitzt die Abwasserkläranlage Gut Steinhof im Norden Braunschweigs eine Kapazität von 385.000 Einwohnergleichwerten. Sie dient nicht nur der Bevölkerung Braunschweigs, sondern auch den umliegenden Kommunen, die im Abwasserverband organisiert sind, sowie den Gewerbe- und Industriebetrieben, die der Indirekteinleiter-Verordnung unterliegen, d.h. ihre Abwässer nicht selbst endreinigen dürfen, sondern über die städtische Kanalisation entsorgen müssen. Die Kläranlage besitzt eine mechanische Vorreinigung, biologische Behandlung, Nährstoff Entnahme und Schlammfaulung. Die täglich behandelte Abwassermenge beträgt 60.000 m<sup>3</sup>. In Tabelle 1 sind einige Zahlen und Fakten zur Abwasserbehandlung in Braunschweig wiedergegeben.

Das Gesamtkonzept der Abwasserverwertung ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

Tab. 1: Zahlen und Fakten der Abwasserbehandlung in Braunschweig.

Bevölkerungszahl im Einzugsgebiet	ca. 280.000
Gesamtlänge der Kanalisation	1.378 km
Länge der Abwasser Kanalisation	561 km
Länge der Regenwasser Kanalisation	676 km
Länge der Mischwasser Kanalisation	76 km
Länge der Druckleitungen	65 km
Anzahl der Pumpstationen	95
Anzahl der Regenwasser Rückhaltebecken	55

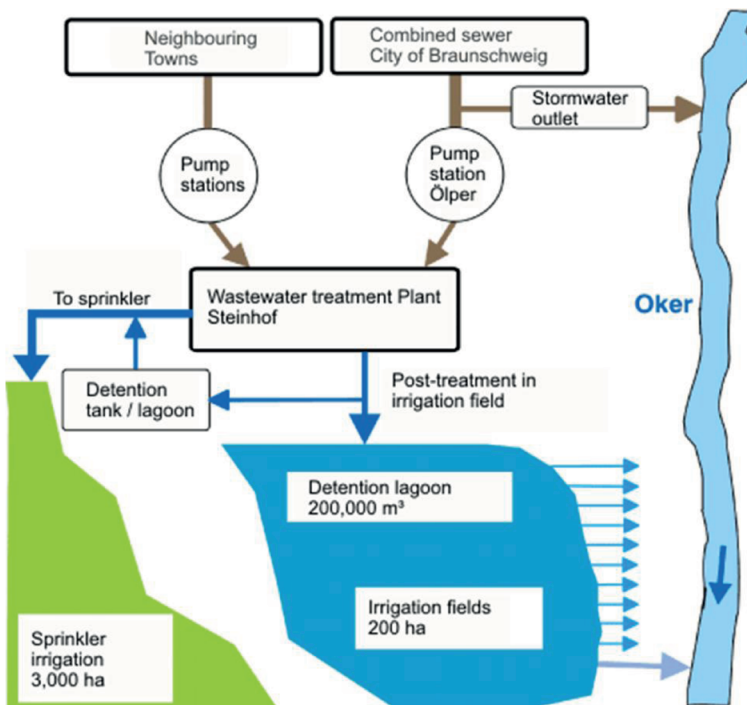


Abb. 1: Abwasserkonzept in Braunschweig.

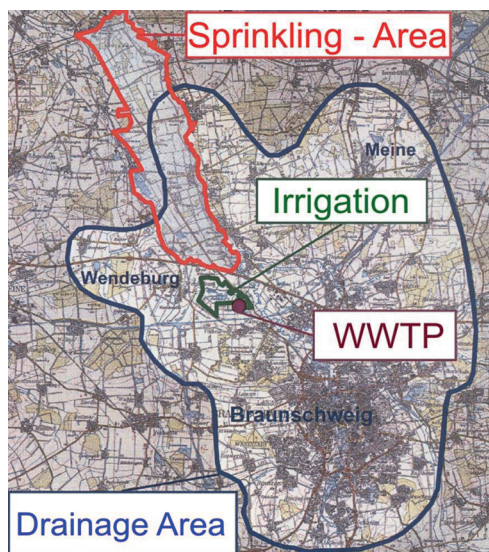


Abb. 2: Generalplan des Abwasserverbands.

### Wasserbedarf und Nutzen der Abwasserverwertung in der Landwirtschaft

Obwohl Deutschland zu wasserreichen Ländern der Erde gehört, sind auch hier regionale und jahreszeitliche Engpässe dokumentiert. Die landwirtschaftlichen Flächen nördlich der Stadt Braunschweig haben als Sandböden einen vergleichsweise hohen Wasserbedarf. Anhand der Wasserbilanz z.B. des Jahres 2006 wird dies besonders deutlich. In der Vegetationsperiode übersteigt die Evaporation deutlich die Präzipitation bei gleichzeitig niedrigem Wasserhaltevermögen der Sandböden, so dass die Landwirte zusätzlich regnen müssen (Abb. 3). Auf diesen Flächen werden die in Tabelle 2 gezeigten Pflanzen angebaut (Tab. 2).

Auf etwa 38% der Anbauflächen auf dem Gebiet des Abwasserverbands werden Energiepflanzen für die Biogas Produktion angebaut. Diese werden in Hillerse zum Biogas fermentiert. Die Eckdaten der Biogas Verwertung sind wie folgt:

- Gesamtkapazität 2,5 MW<sub>el</sub>
- 2x 1 MW<sub>el</sub> Anlagen in Ölper,
- 1x 0,5 MW<sub>el</sub> in Hillerse (genutzte Abwärme zum Betrieb der Biogas Fermenter),
- 29 km Gas Pipelines von Hillerse zum Kraftwerk in Ölper.

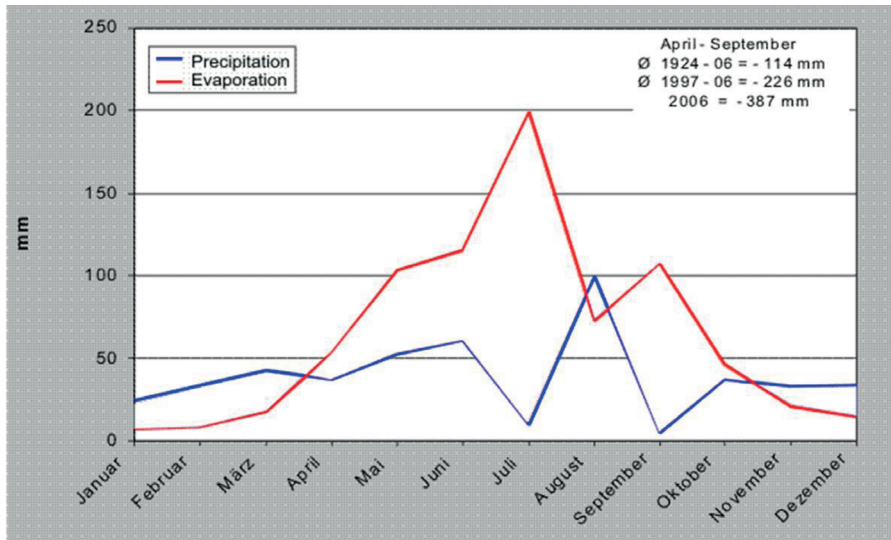


Abb. 3: Wasserbilanz in Braunschweig 2006.

Tab. 2: Anbau von Feldfrüchten auf Abwasser verregneten Feldern

	1950 [%]	1970 [%]	1990 [%]	2007 [%]
Getreide	42	39	60	30
Kartoffeln	26	20	6	6
Zuckerrüben	6	16	25	19
Mais	0	2	2	38
Andere	26	23	7	7

### Bedeutung des Abwassers und der Inhaltsstoffe für den Ressourcenschutz

Im Gut Steinhof werden jährlich 21 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser behandelt. Hiervon gehen 15 Mio. m<sup>3</sup>/a in die Verregnung und 6 Mio. m<sup>3</sup>/a auf die Rieselfelder. Der Bedarf der Feldfrüchte im Verregnungsgebiet beträgt ca. 100 mm auf 3.000 ha Anbaufläche (s. Abb. 3). Dies entspricht einem Anteil von 3 Mio. m<sup>3</sup>/a der verregneten

15 Mio. m<sup>3</sup>/a, so dass 12 Mio. m<sup>3</sup>/a zur Grundwasseranreicherung durch den Boden perkolieren. Dieses Volumen entspricht etwa dem Trinkwasserbedarf im Einzugsgebiet des Abwasserverbandes Braunschweig.

Während der Abwasserbehandlung werden etwa 6.800 t Trockensubstanz pro Jahr (TS/a) an Klärschlamm im Überschuss gebildet. Dieser Klärschlamm wird zunächst dem Abwasser entnommen, in der Klärschlammfäulung fermentiert und Biogas produziert, und danach als ausgefauter Schlamm wieder dem gereinigten Abwasser als Träger der biologisch gebundenen Nährstoffe zugesetzt. Ein gewisser Anteil (insbesondere in der vegetationsarmen Winterzeit) des ausgefauten Schlammes wird gelagert, um im folgenden Frühjahr dem Abwasser wieder zugesetzt oder/und anderswo in der Landwirtschaft verwertet zu werden. Die Schlamm Bilanz sieht danach wie folgt aus:

– Primär- und Überschuss-Schlamm	6.800 t TS/a
– Massenverlust durch Biogasbildung	2.050 t TS/a
– Anaerob ausgefauter Schlamm	4.750 t TS/a
(hiervon ~ 60% verregnet im Einzugsgebiet)	2.750 t TS/a)
(hiervon ~ 40% verwertet anderen Orts)	2.000 t TS/a)

Der ausgefauter Schlamm ist der wesentliche Nährstoffträger aus dem Klärprozess. Die essentiellen Makro- und Mikronährstoffe und Spurenelemente werden an die Biomasse des Schlammes gebunden bzw. bei der pH Einstellung im Fermenter zugesetzt und verbleiben im ausgefauten Schlamm. Die Nährstoffgehalte und den Bedarf in der Landwirtschaft vergleicht die Tabelle 3.

## Maßnahmen für Boden- und Grundwasserschutz

Kommunale Abwässer kommen nicht nur aus Haushalten, sondern auch von Gewerbe- und Industriebetrieben, die keine eigenen Kläranlagen betreiben, sondern in die öffentliche Kanalisation einleiten. Hinzu kommt der Regenwasserabfluss mit möglichen zahlreichen Schadstoffeinträgen von Boden- und Straßenoberflächen, die das Abwasser zusätzlich belasten können. Die Verwertung von Abwässern nach deren Reinigung muss also dafür Sorge tragen, dass die Schadstoffe nicht in die Kläranlage gelangen bzw. beim Klärprozess eliminiert werden. Die europäischen Gesetzgeber haben hierfür Abwasser-Verordnungen erlassen, die die Schadstoffe aus Gewässern fernhalten sollen. Im Bereich der Kommunalen Abwässer sind die so genannten „Indirekteinleiter-Verordnungen“ besonders wichtig. Indirekt Einleiter sind alle Abwassererzeuger, die ihre Abwässer nicht direkt in die Umwelt abgeben dürfen, sondern diese erst über eine öffentliche Kanalisation und Abwasserreinigungsanlage entsorgen müssen, wie alle privaten Haushalte. Obwohl bundesgesetzlich geregelt, werden die Indirekt-

Tab. 3: Nährstoffgehalte im ausgefaulten Schlamm und Bedarf in der Landwirtschaft (kg/ha).

	Gehalt	Bedarf
Ammonium, Nitrat	50	140
Phosphate ( $P_2O_5$ )	69	70
Kalium ( $K_2O$ )	78	130
Schwefel (S)	105	25
Magnesium ( $MgO$ )	38	45
Calcium ( $CaO$ )	318	380
Organische Masse	640	-
Kompost Äquivalent	2.300	-

einleiter-Verordnungen auf Länderebene und schließlich auf kommunaler Ebene erlassen und überwacht. Tabelle 4 zeigt die Indirekteinleiter-Verordnung der Stadt Braunschweig.

Diese Grenzwerte müssen natürlich auch überwacht werden, damit das Abwasser wenig verschmutzt in die Kläranlage gelangt, um dort so weit gereinigt zu werden, dass die Grenzwerte für die Abgabe der behandelten Abwässer in die Umwelt eingehalten werden können. Zu diesem Zweck werden in der Stadt Braunschweig mehr als 400 Forschungs- und Gewerbebetriebe überwacht, u.a. Forschungsinstitutionen, Krankenhäuser, Werkstätten und Tankstellen, Druckereien, Lebensmittelproduzenten, Glasindustrie, Metallindustrie u.a.m. Neben regelmäßig durchgeführten Abwasseruntersuchungen an den Übergabestellen dieser Betriebe in die öffentliche Kanalisation, bei denen man manchmal nur zufällig auf Grenzwertüberschreitungen aufmerksam wird, werden auch Langzeit-Passivsammler an Knotenpunkten in der Kanalisation eingesetzt. Diese sind acht-armige Plastikstreifen als Kulturmedium, die auf dem Abwasser schwimmen und auf deren Oberflächen sich ein Biofilm ausbildet. Bei regelmäßiger Entnahme des Biofilms werden die darauf adsorbierten Schadstoffe miterfasst und geben ein integrales Abbild der Abwasserfrachten während der Sammelperiode von einigen Wochen (Abb. 4). Seit der Einführung der routinemäßigen Abwasseruntersuchungen und später der Biofilm-Untersuchungen in der städtischen Kanalisation gingen die Schadstofffrachten im Abwasser und damit im Klärschlamm signifikant zurück, wie dies am Beispiel der Cadmium-



Tab. 4: Einige Grenzwerte der Indirekteinleiter-Verordnung der Stadt Braunschweig.

Kationen	mg/L	Organische Verbindungen	mg/L
Hg	0,05	POX / AOX	0,5 / 1,0
Cd	0,1	BTXE + Styrol	2,0
Cr(VI)	0,2	HC Index ( $\Sigma C_m H_n$ )	20
As	0,3	Phenol Index	100
Ag, Sb	0,5	PAH	0,05
$\Sigma$ Cr, Cu, Ni, Pb	1,0	Öle und Fette	300
Ba, Co, Sn	2,0	Farbstoffe	< sichtbare Konzentration
Zn	5,0		
Anionen / Elemente		Toxizität	< Schlamm Toxizität
freies Chlor	0,5		
freie / gesamte Cyanide	0,2 / 20		
Sulfide	2,0		
$\Sigma$ P	50		



Abb. 4: Biofilm Probenahme auf Passivsammler aus der Kanalisation in der Beethovenstraße.

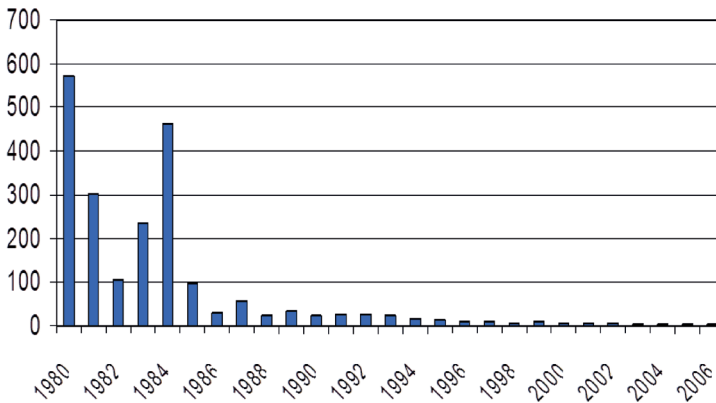


Abb. 5: Cadmium Belastung im Faulschlamm – Gut Steinhof.

Belastung des Faulschlammes deutlich wird (Abb. 5). Gleiches gilt für weitere Schwermetalle im Abwasser und Schlamm (hier nicht gezeigt).

## Boden- und Grundwasseruntersuchungen im Verregnungsgebiet

Zur Überwachung der Boden- und Grundwasserqualität im Verregnungsgebiet werden Feld-Lysimeter und Grundwasserbrunnen betrieben. Diese sind in einem bestimmten Abschnitt entlang des Grundwasserfließwegs angelegt (Abb. 6). In unterschiedlichen Tiefen werden Bodenproben genommen, das Perkulationswasser gesammelt und auf verschiedene Schadstoffe untersucht (Abb. 7). In den letzten Jahren stehen Medikamentenrückstände, die in der Kläranlage nicht vollständig eliminiert werden, besonders im Fokus (Abb. 8). Da die Konzentrationen von Pharmazeutika in Oberflächenwässern inzwischen weltweit deutlich zunehmen und in Einzelfällen ökotoxische Grenzwerte erreicht und überschritten haben, so dass deutliche biologische Effekte auf aquatische und amphibische Organismen beobachtet werden, rechnet man bald mit neuen Regeln für den Bau und Betrieb von Abwasserkläranlagen zur Nachbehandlung von geklärten Abwässern mit Ozon und/oder UV-Bestrahlung, um die organischen Mikroschadstoffe ebenfalls zu eliminieren.

Die Überwachung der Wasser- und Bodenqualität erfolgt durch wöchentliche Analysen des Kläranlagenablaufs. Darüber hinaus werden sechs Drainage-Auslässe auf einem 500 ha großen Areal und drei von 33 Kontrollbrunnen vier Mal jährlich auf nachfolgende Abwasserparameter untersucht: pH, EC, DO, TOC,



CSB, BSB<sub>5</sub>, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>org</sub>, P<sub>total</sub>. Dabei werden etwa 200 t/a Phosphor nahezu vollständig in den Nährstoffkreislauf zurückgeführt, so dass nur wenig Phosphor nachgedüngt werden muss. Hierdurch werden knappe und sich bald erschöpfende Weltphosphor-Reserven ebenfalls geschont.

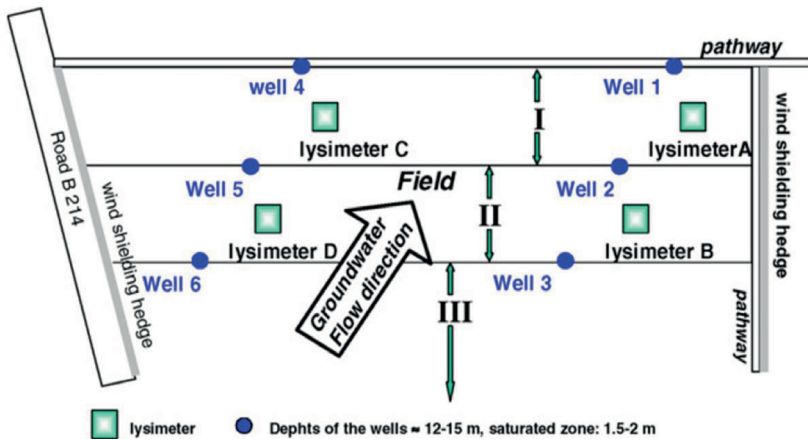


Abb. 6: Boden- und Grundwasserüberwachung im Verregnungsgebiet.

## Field Lysimeter

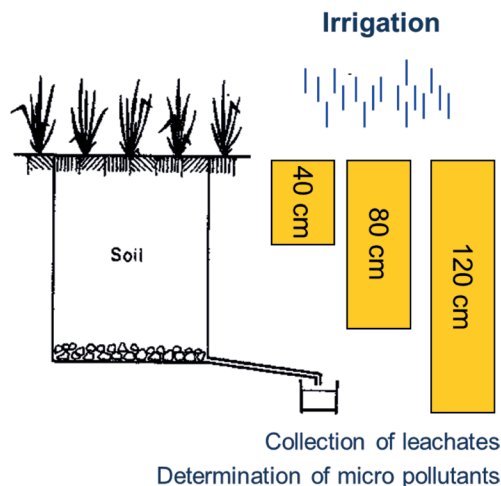


Abb. 7: Feld-Lysimeter im Verregnungsgebiet.

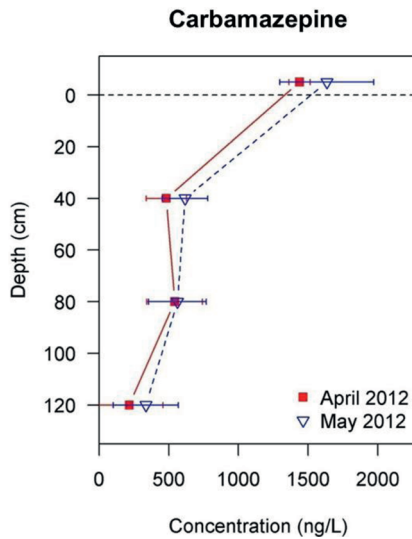


Abb. 8: Carbamazepin Rückstände im Boden.

Ein interessantes Bild ergibt sich für die Wiedernutzung des Stickstoffs im Abwasser (Abb. 9). 40% des Stickstoffs im Abwasser, vornehmlich als Nitrat, wird innerhalb des Abwasserverbands und 10% außerhalb des Verbandsgebiets ver-

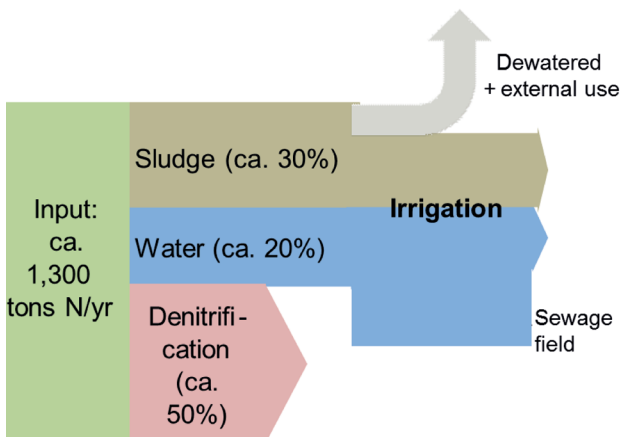


Abb. 9: Stickstoff Ausnutzung bei der Abwasserbehandlung.

wertet und trägt somit nicht zur Überdüngung der Umwelt und Eutrophierung der Gewässer bei. Etwa 50% des Stickstoffs im Abwasser gehen durch Denitrifikation bei der biologischen Abwasserbehandlung verloren. Da Nitrat im Boden leicht ausgewaschen wird, müssen die Landwirte dennoch zusätzlich Nitrat düngen. Bei einem Preis von ca. 0,5-1 Euro für 1 kg Stickstoffdünger sind die Ersparnisse durch Stickstoff im Abwasser beträchtlich. 1.300 t N-Input durch die Abwasserverwertung in Braunschweig ist ausreichend für ca. 6.000 bis 8.000 ha landwirtschaftlicher Anbaufläche. Um den Landwirten richtige Düngerempfehlung zu geben und die verfügbaren Mengen an Wasser und Nährstoffen gerecht zu verteilen, werden alljährlich ca. 12.000 Analysen des Abwassers und  $N_{min}$  Analysen im Boden sowie Düngungsversuche mit typischen Feldfrüchten in diesem Gebiet durchgeführt. Der Abwasser-Nährstoff-Energie Nexus in Braunschweig wird aus der Abb. 10 deutlich.

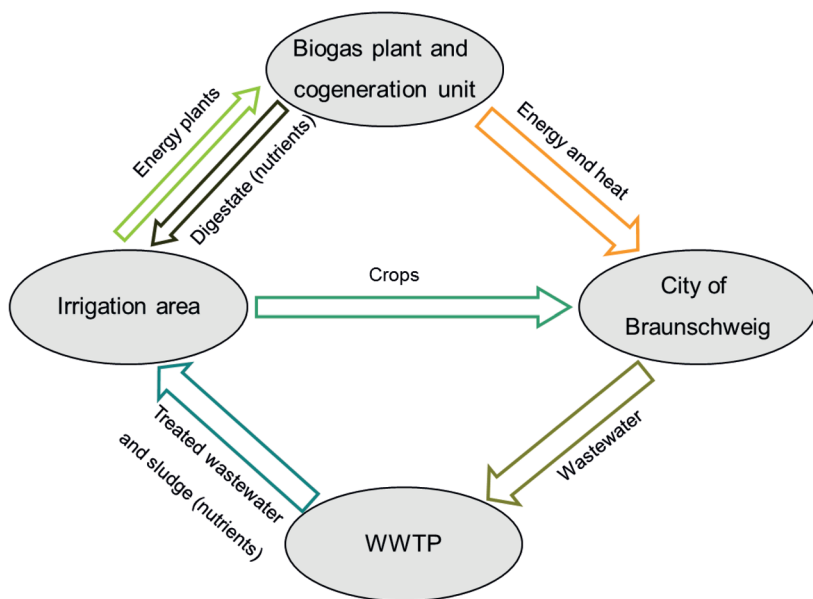


Abb. 10: Der Abwasser-Nährstoff-Energie Nexus in Braunschweig.

## Schlussfolgerungen

Die Behandlung und kaskadische Weiternutzung von kommunalen Abwässern weist eine Reihe von Vorteilen auf, die am Beispiel der Stadt und des Abwasserverbands Braunschweig deutlich zu Tage treten. Sie sind sowohl auf Seiten

der Kommune, als staatliche Behörde verantwortlich für die Abwasserentsorgung, als auch der Abwasser-Nutzer, hier die Landwirtschaft sichtbar. Die Umwelt profitiert davon gleich in mehrfacher Hinsicht, nämlich im Hinblick auf die Vermeidung von Schadstoffeinträgen in Böden und Grundwasser, Ressourcenschonung, Vermeidung von Grundwasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung und Förderung des Konzepts der Grundwasseranreicherung. In diesem Sinne stellt das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung ein „*Best Practice*“ Beispiel für die Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Mehrfachnutzung von knappen Süßwasser Ressourcen und der Wiedergewinnung von wertvollen Inhaltsstoffen aus dem Abwasser dar.

Aus diesen Erfahrungen heraus wird das „*Braunschweiger Modell*“ im Rahmen von internationalen Kooperationen der TU Braunschweig wie Tagungen, Projekte und Netzwerke (Exceed SWM, EMPOWER Tunisia und MESAEP) den internationalen Partnern erfolgreich und überzeugend vorgestellt. Verschiedene Aspekte dieses Konzepts und des Monitorings (z.B. durch Passivsammler für Biofilm) werden in den Partnerländern bereits erfolgreich umgesetzt.

## Danksagung

Der Autor dankt der Stadtentwässerung und dem Abwasserverband Braunschweig für die Bereitstellung der hier vorgestellten Daten. Dem DAAD gilt besonderer Dank für die finanzielle Förderung der Projekte Exceed SWM und EMPOWER Tunisia, in deren Rahmen der *know how* Transfer aus Braunschweig und *Capacity Building* in den betreffenden Ländern durchgeführt werden konnte.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2017): Die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung, Ziel 6: Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten. [http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030\\_agenda/17\\_ziele/ziel\\_006\\_wasser/index.html](http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/17_ziele/ziel_006_wasser/index.html) (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [2] Robert Koch Institut (2016): Informationen zum Ebolafieber-Ausbruch in Westafrika 2014/2015, (Stand 30.03.2016) [http://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/E/Ebola/Kurzinformation\\_Ebola\\_in\\_Westafrika.html](http://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/E/Ebola/Kurzinformation_Ebola_in_Westafrika.html) (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [3] DAAD (2016): Hochschulexzellenz in der Entwicklungszusammenarbeit – Exceed, <https://www.daad.de/der-daad/unsere-aufgaben/entwicklungszusammenarbeit/foerderprogramme/hochschulen/infos/de/43947-hochschulexzellenz-in-der-entwicklungszusammenarbeit-exceed/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)

- [4] DAAD (2016): Deutsch-Arabische Transformationspartnerschaft. <https://www.daad.de/hochschulen/programme-regional/arabischer-raum/de/27682-deutsch-arabische-transformationspartnerschaft/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [5] MESAEP (2017): Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection, <https://www.mesaep.org/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)